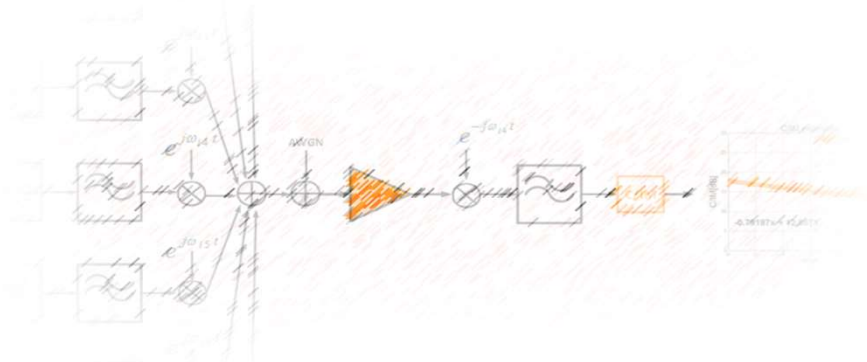


Analytical C/IM Performance Curves for Broadband Satellite Transponders



Álvaro Duque de Quevedo, Ramón Martínez Rodríguez-Orsio
Grupo de Radiación. ETSI de Telecomunicación
ramon.martinez@upm.es

Índice

- Motivación & Objetivos
- Cálculo de la C/IM
- Descripción del simulador
- Resultados
- Conclusiones

Motivación

- Mundo de las **comunicaciones por satélite** en **continua evolución**. Requisito creciente de:

- Alta velocidad.
- Ancho de banda.

- La **explotación eficiente** de la **carga útil** es un objetivo primordial.

Limitaciones a bordo:

- Potencia disponible.
- Ancho de banda.

- Amplificadores de Alta Potencia (HPA).**

Compromiso entre:

- Eficiencia.
- Efectos no lineales** (intermodulación).



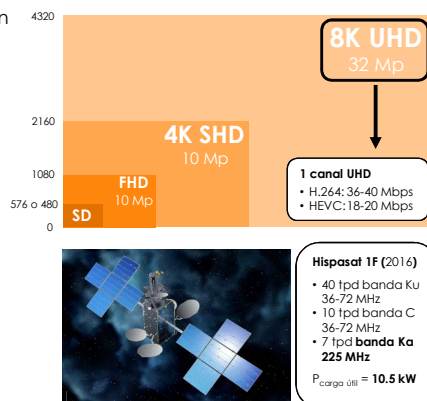
Necesidad de estudio del impacto de los efectos no lineales.

- Estimación de la relación **C/IM**.
- Inclusión de C/IM en el **balance del enlace**.

$$(C/N)_T^{-1} = (C/N)_U^{-1} + (C/N)_D^{-1} + (C/IM)^{-1}$$

- Estándares de transmisión de video por satélite: **DVB-S2 (2009) → DVB-S2X (2014)**

- Modulaciones: QPSK, 8-PSK, 16-APSK, 32-APSK, 64-APSK, 128-APSK, 256-APSK
- Factores de roll-off de los filtros: 0.35, 0.25, 0.2, 0.15, 0.1, 0.05



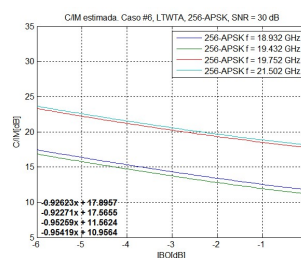
ANALYTICAL C/IM PERFORMANCE CURVES FOR BROADBAND SATELLITE TRANSPONDERS – URSI 2016

3

Objetivos

- Objetivo principal:**

Estudiar y analizar los **productos de intermodulación** en enlaces de comunicación por satélite, producidos en los **amplificadores de potencia** (principalmente **Tubos de Ondas Progresivas, TWTA**), para obtener **modelos analíticos** de las **curvas de C/IM** a la salida de los mismos, en función de diferentes parámetros (número y tipo de portadoras, IBO, tipo de modulación, tipo de amplificador, etc.).



- Desglose de objetivos:**

- Creación de un **simulador** modular de carga útil. Especial atención a:
 - Banco de generación de señales (cualquier distribución de portadoras).
 - Modelo del amplificador no lineal.
 - Etapas de cálculo, representación y ajuste de curvas C/IM.
- Ejecución** del simulador para diversos casos de estudio.
- Obtención de un **modelo analítico** para las curvas C/IM.
- Análisis** de resultados y evaluación del comportamiento no lineal del sistema ante los **diferentes escenarios**.

ANALYTICAL C/IM PERFORMANCE CURVES FOR BROADBAND SATELLITE TRANSPONDERS – URSI 2016

4

Índice

- Motivación & Objetivos
- **Cálculo de la C/IM**
- Descripción del simulador
- Resultados
- Conclusiones

ANALYTICAL C/IM PERFORMANCE CURVES FOR BROADBAND SATELLITE TRANSPONDERS – URSI 2016

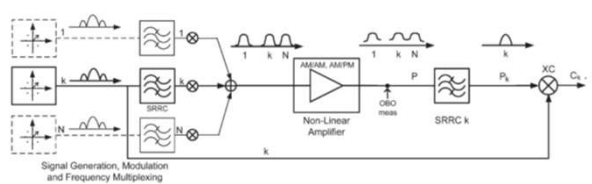
5

Cálculo de la relación C/IM

Antecedente: Aloisio et al., "Accurate characterization of TWTA distortion in multicarrier operation by means of a correlation-based method", 2009.

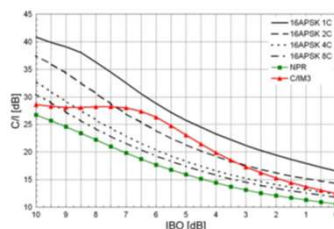
Simulador:

- Banco de señales (1→8 portadoras)
 - Generador de bits aleatorios
 - Modulaciones QPSK → 32-APSK
 - Filtro SQRC en tx
 - Multiportadora FDM
- Amplificador LTWTA
 - Curvas AM/AM y AM/PM
- Filtro SQRC en rx
- Cálculo y representación de C/IM



Cálculo de la C/IM - Método basado en correlaciones:

"Correlando la señal de salida del amplificador con una réplica de la señal de entrada es posible estimar la parte de potencia útil que hay en la señal de salida, sin necesidad de medir directamente los productos de intermodulación."



$$\frac{C}{IM} = \frac{\frac{R_{xx}^2(\hat{\tau})}{P_x}}{\frac{R_{xx}^2(\hat{\tau})}{P_x}} \left\{ \begin{array}{l} \text{C/IM: Relación } \frac{\text{potencia de portadora}}{\text{potencia de productos de intermodulación}} \\ - P_x \text{ Potencia total de salida del amplificador} \\ - P_s \text{ Potencia de la portadora original (modulada y filtrada)} \\ - R_{xx}^2(\hat{\tau}) \text{ Función de correlación cruzada entre la señal portadora de entrada y la señal de salida del TWTA} \end{array} \right.$$

ANALYTICAL C/IM PERFORMANCE CURVES FOR BROADBAND SATELLITE TRANSPONDERS – URSI 2016

6

Índice

- Motivación & Objetivos
- Cálculo de la C/IM
- Descripción del simulador
- Resultados
- Conclusiones

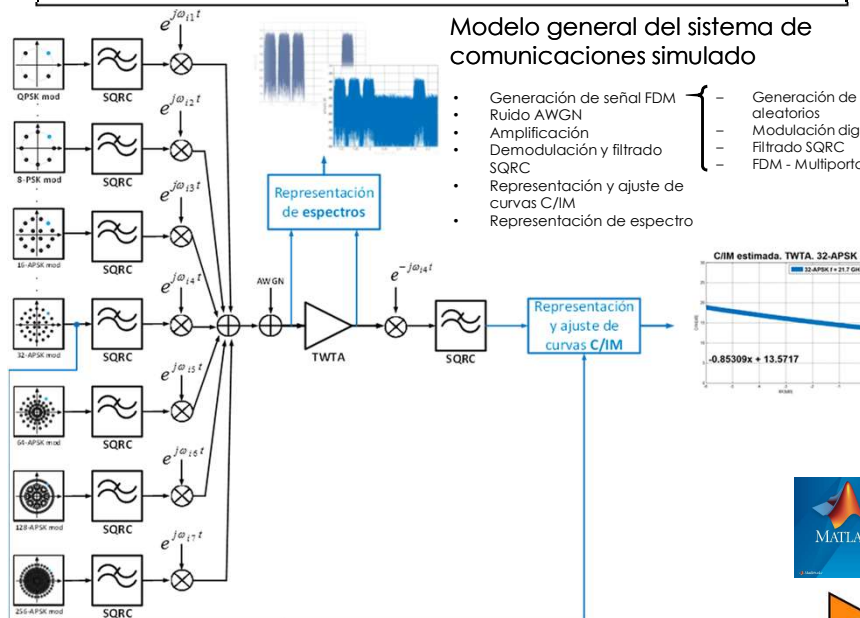
ANALYTICAL C/IM PERFORMANCE CURVES FOR BROADBAND SATELLITE TRANSPONDERS – URSI 2016

7

Simulador

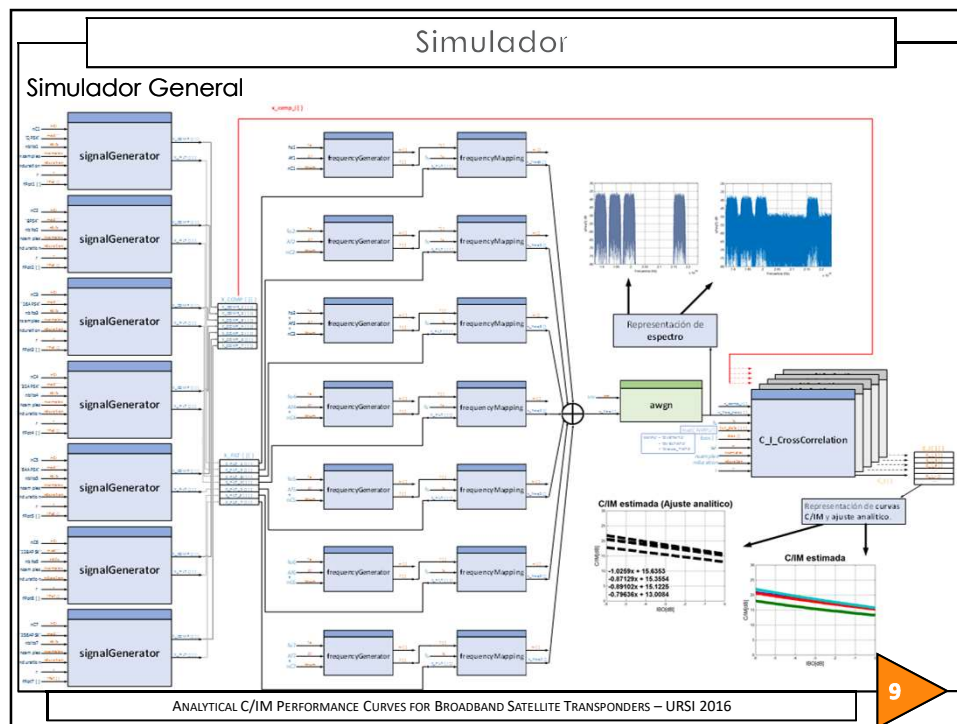
Modelo general del sistema de comunicaciones simulado

- Generación de señal FDM
 - Generación de bits aleatorios
 - Modulación digital
 - Filtrado SQRC
 - FDM - Multiportadora
- Ruido AWGN
- Amplificación
- Demodulación y filtrado SQRC
- Representación y ajuste de curvas C/IM
- Representación de espectro

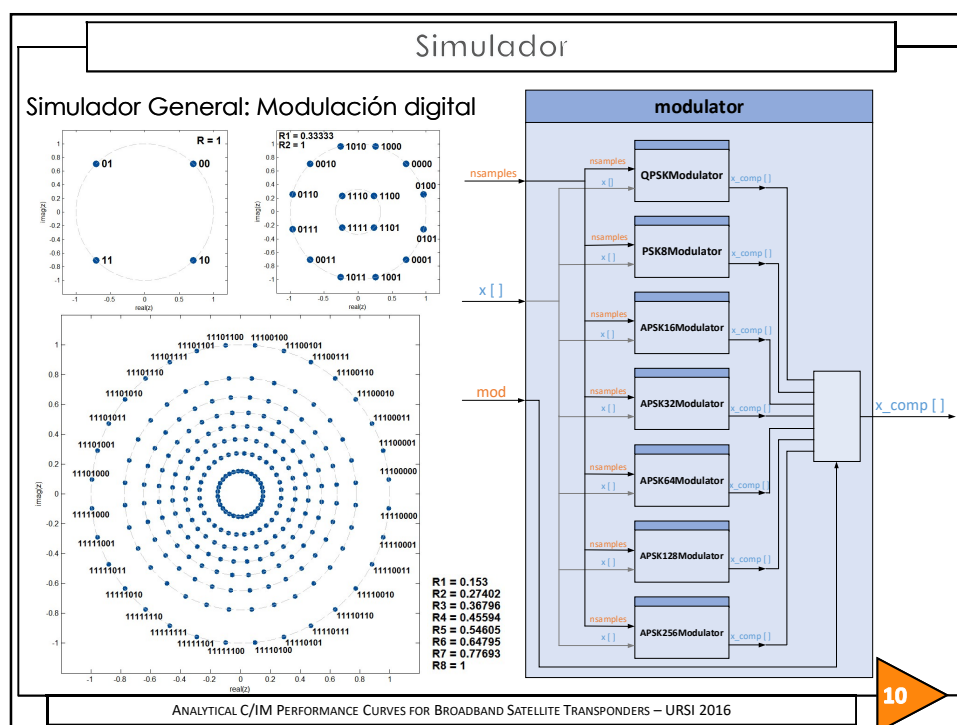


ANALYTICAL C/IM PERFORMANCE CURVES FOR BROADBAND SATELLITE TRANSPONDERS – URSI 2016

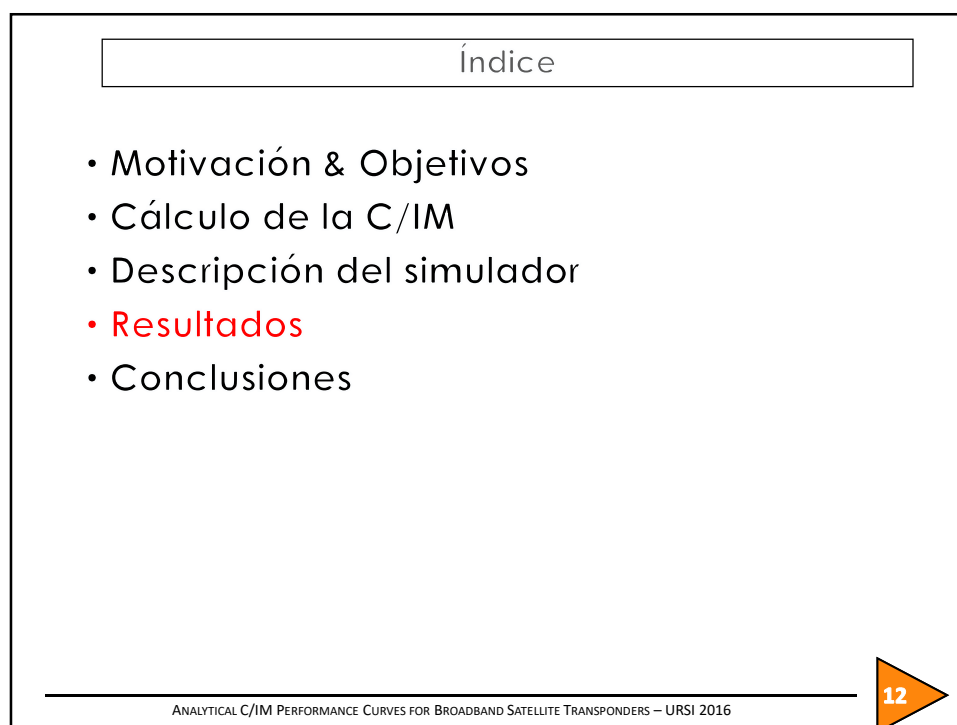
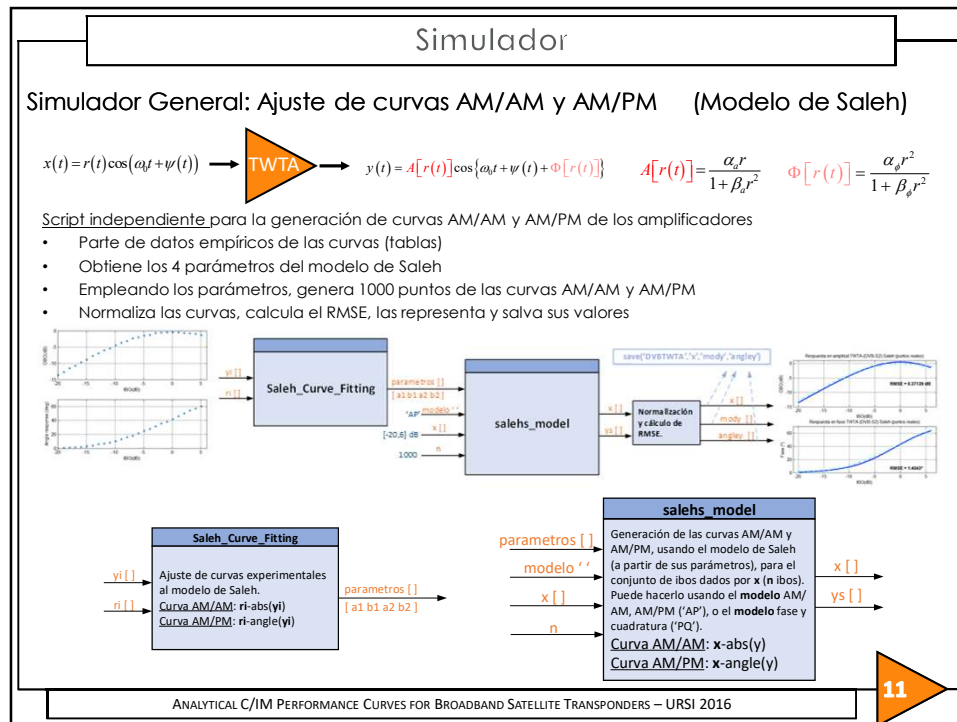
8



9



10



Resultados (1). Calibración del simulador

Número de muestras de las señales

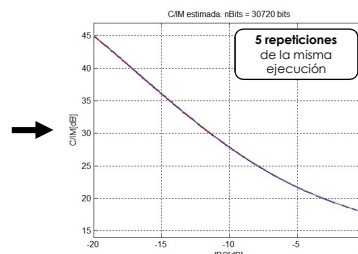
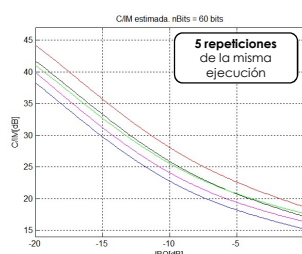
- Calibración del procedimiento de cálculo de la C/IM: desviación estándar de las curvas C/IM

Ejemplo:

1 portadora QPSK
 $R_s = 360$ Msps
 filtro SQRC
 $\alpha = 0.2$
 span = 32 símbolos
 ovfs = 20 muestras/símb

nbits = 60 bits

nbits = 30720 bits



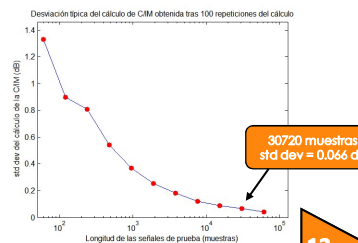
- Pruebas en el simulador: modificación de *Simulador_C_I_nC* para cálculo de *std dev* variando nbits

Ejemplo:

1 portadora QPSK
 $R_s = 360$ Msps
 filtro SQRC
 $\alpha = 0.2$
 span = 32 símbolos
 ovfs = 20 muestras/símb

- El simulador genera señales de nbits = 30720 bits para QPSK con ovfs = 20 muestras/símb.
- Para otras modulaciones y otros valores de ovfs, el simulador ajusta el valor de nbits.
- La std dev en el cálculo de C/IM depende del tamaño de vectores entre los que se calcula la correlación cruzada.

std dev calculada para 100 repeticiones



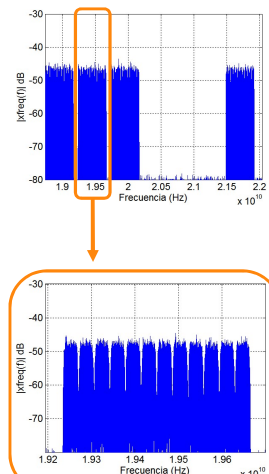
ANALYTICAL C/IM PERFORMANCE CURVES FOR BROADBAND SATELLITE TRANSPONDERS – URSI 2016

13

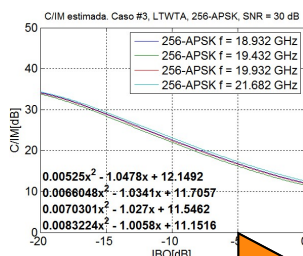
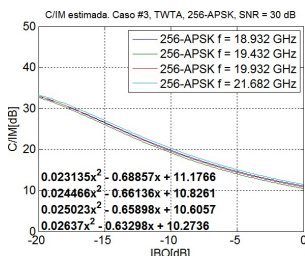
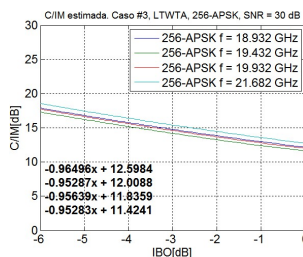
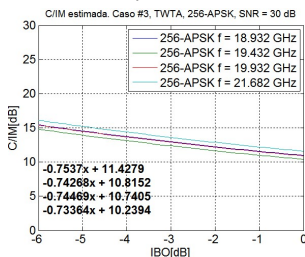
Resultados (2). Distribución multiportadora

Casos de estudio #3

- Espectro a la entrada

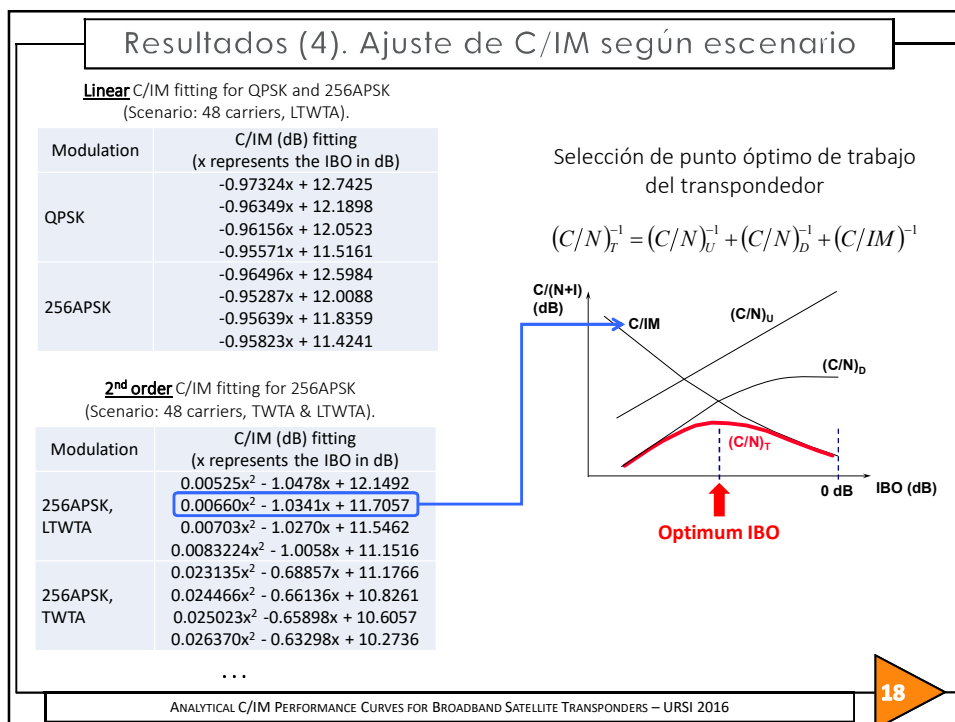
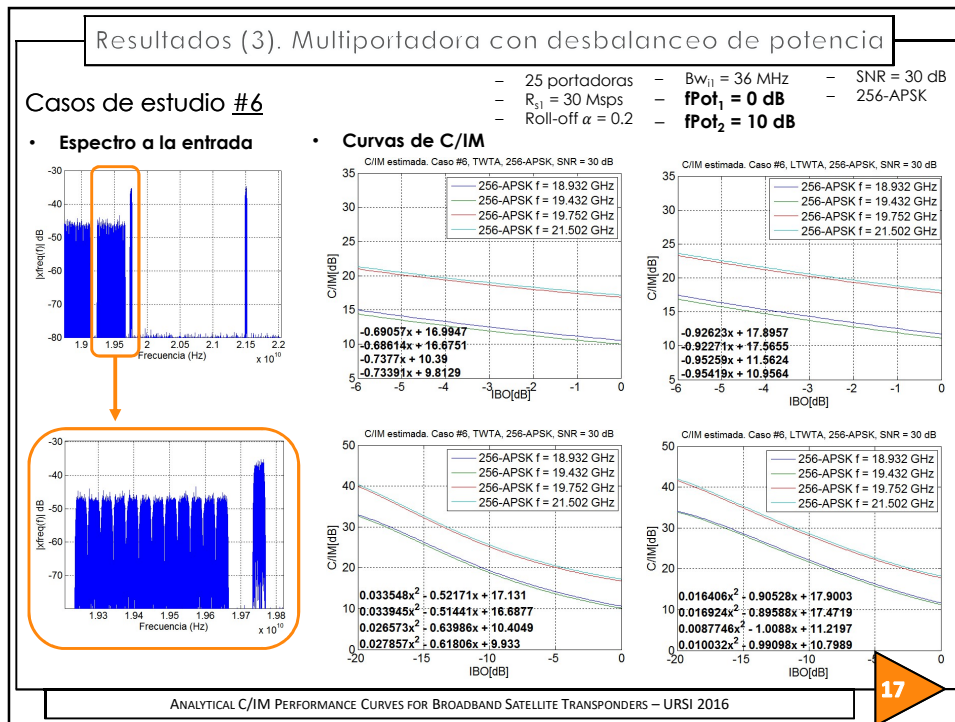


- Curvas de C/IM



ANALYTICAL C/IM PERFORMANCE CURVES FOR BROADBAND SATELLITE TRANSPONDERS – URSI 2016

15



Resultados (5). Variación de dos parámetros

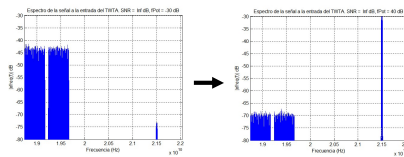
Casos de estudio 3D: comportamiento según relación entre potencias

- **Escenario simulado #6:**

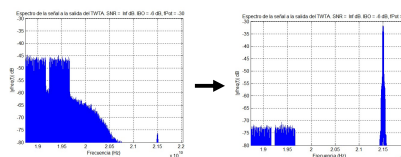
- $R_s = 30$ Msps
- Modulación QPSK
- Roll-off $\alpha = 0.2$
- 24 portadoras en bandas NE1 y NE2.
- 1 portadora en banda BSS
- f_{pot} variable de -30dB a 40dB

C/I_M estimada para la portadora central en NE1

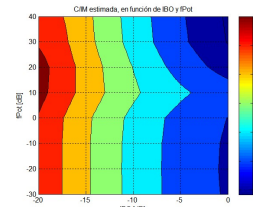
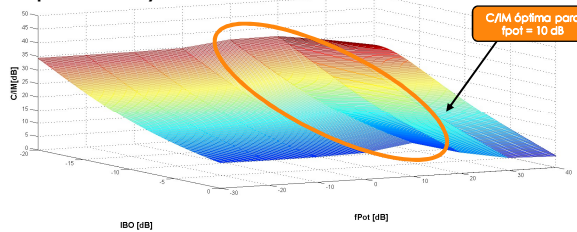
- **Espectro a la entrada del TWT:**



- **Espectro a la salida del TWT (IBO = -6 dB):**



- **Superficies 3D y contornos:**



ANALYTICAL C/I_M PERFORMANCE CURVES FOR BROADBAND SATELLITE TRANSPONDERS – URSI 2016

19

Índice

- Motivación & Objetivos
- Cálculo de la C/I_M
- Descripción del simulador
- Resultados
- Conclusiones

ANALYTICAL C/I_M PERFORMANCE CURVES FOR BROADBAND SATELLITE TRANSPONDERS – URSI 2016

20

Conclusiones & Líneas futuras

Conclusiones

- Se ha desarrollado un simulador modular de la carga útil de un satélite de comunicaciones
 - Modulaciones QPSK, 8-PSK, 16-APSK, 32-APSK, **64-APSK, 128-APSK y 256-APSK**.
 - **Diferente Régimen Simbólico** de portadoras en el transpondedor.
 - **Reparto desigual de potencias** entre portadoras.
 - Amplificadores con **modelo de Saleh**
- Se han simulado un gran número de **casos de prueba**.
- Resultados dependientes de un **gran número de parámetros**
- A partir de los resultados del simulador se obtienen **expresiones analíticas de la C/IM** para su incorporación a balances de enlace por satélite
 - Búsqueda del **punto de óptimo de operación** del transpondedor

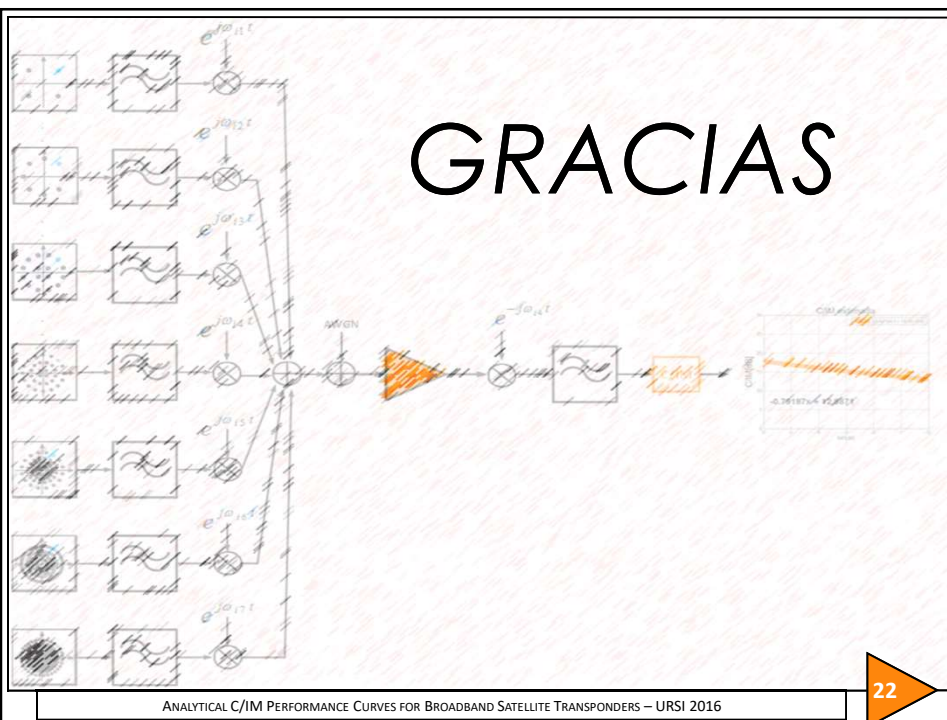
Líneas futuras

- Analizar otros escenarios reales y amplificadores o modelos
- **Comparación** de los **resultados** con otros simuladores o datos de operadores
- Analizar la validez del cálculo de la C/IM en escenarios con **solape de portadoras** (e.g. Carrier in Carrier)
- Facilitar la **carga de datos** en el simulador (GUI, spreadsheet)
- Desarrollo del simulador en **tecnología web**

ANALYTICAL C/IM PERFORMANCE CURVES FOR BROADBAND SATELLITE TRANSPONDERS – URSI 2016

21

GRACIAS



ANALYTICAL C/IM PERFORMANCE CURVES FOR BROADBAND SATELLITE TRANSPONDERS – URSI 2016

22